

SPC-menetelmän käyttöönotto tiiviste- teen valmistusprosessissa

Ville Hassi

Opinnäytetyö
2017

Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Hassi, Ville	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Tammikuu 2017
	Sivumäärä 52	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi SPC-menetelmän käyttöönotto tiivisteen valmistusprosessissa		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Juhani Ala-kangas, Harri Peuranen		
Toimeksiantaja(t) Vexve Oy, Sastamala		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Vexve Oy, joka toimii Sastamalassa ja Laitilassa. Yritys valmistaa venttiilejä kaukolämpö-, kaukokylmä-, öljy- ja kaasuverkostoihin sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin. Yrityksellä oli käynnissä läppäventtiilin kehitysprojekti ja haluttiin tietää, voisiko tilastollista prosessinohjausmenetelmää käyttää apuna läppäventtiilin tiivisteen valmistusprosessissa.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteina oli tutkia sopiiko tilastollinen prosessinohjaus menetelmänä Vexve Oy:n kaltaiseen tuotantoon ja mikä on sopivin tapa toteuttaa tilastollista prosessinohjausta kohdeyrityksessä. Lisäksi tutkittiin onko tilastollista prosessinohjausmenetelmää apuna käyttäen mahdollista löytää juurisyytä läppäventtiilin tiivisteen valmistusprosessissa esiintyneeseen laatuvaihteluun.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin perehtymällä tilastollisen prosessinohjauksen teoriaan ja pohtimalla suuntaviivat sekä vaatimukset menetelmän käyttöönotolle. Selvitettiin läppäventtiilin tiivisteen valmistusprosessiin kuuluvat työvaiheet ja prosessiin vaikuttavat tekijät sekä kartoitettiin tiivisteissä esiintyviä virheitä. Virhekartoituksen sekä prosessiin vaikuttavien tekijöiden pohjalta määritettiin mittauspisteet, joissa suoritetaan tarkempia mittauksia tiivisteille.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin määritettyä mittauspisteet tuotantoon sekä kohteet, joita mittauspisteillä seurataan. Mittauspisteille luotiin tiedonkeruulomakkeet, joista saadut tiedot kirjataan laskentapohjaan. Laskentapohja tuo ilmi tuote-erät, joissa virheellisten tuotteiden suhde ylittää ohjausrajan määrittämän raja-arvon. Lisäksi tuotantoon saatiin laatutaulu, josta voidaan seurata esiintyvää laatuvaihtelua tiivisteen valmistusprosessissa.</p>		
<p>Avainsanat (asiasanat)</p> <p>SPC, tilastollinen prosessinohjaus, tiivisteen valmistus, läppäventtiili</p>		
<p>Muut tiedot</p> <p>Liitteissä 1-14 on esitetty yrityksen liikesalaisuuksiin liittyviä tietoja sekä teknologista tai muuta kehittämistyötä ja niiden arviointia (kohta 21). Nämä liitteet on sen vuoksi jouduttu poistamaan perustuen lakiin (621/1999) 24§ kohdat 17, 20 ja 21.</p>		

Author(s) Hassi, Ville	Type of publication Bachelor's thesis	Date January 2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 52	Permission for web publication: x
Title of publication Introduction to SPC (Statistical Process Control) in the seal manufacturing process		
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Ala-kangas, Juhani, Peuranen, Harri		
Assigned by Vexve Oy, Sastamala		
<p>Abstract</p> <p>The assignor of the bachelor's thesis was Vexve Oy, which operates in Sastamala and Laitila. The company manufactures valves for district heating and cooling applications, oil and gas piping systems, as well for various heating and cooling applications. The company was running a butterfly valve development project and they wanted to clarify whether SPC (Statistical Process Control) can be used in the process manufacturing seals.</p> <p>The aim of the thesis was to examine the sustainability of SPC in Vexve's production and to find the most appropriate way to implement that. It was also examined whether SPC can be used to identify the root causes of quality fluctuation.</p> <p>The thesis was conducted by studying the theory of SPC and considering the guidelines and the requirements of SPC. The target was also to determine the stages, affecting factors and occurring errors in the process of seal manufacturing. The measurement points were also determined based on this information.</p> <p>Using the outcome of the measurements the company is able to identify the batch of the products in which the amount of defective products is more than the limiting value permits. In addition, a quality board was created to keep track of the occurring variation in the process of seal manufacturing.</p>		
<p>Keywords/tags (subjects)</p> <p>SPC, Statistical Process Control, seal manufacturing, butterfly valve</p>		
<p>Miscellaneous</p> <p>The attachments 1-14 has been set confidential as those include company's business secrets as well technological and other development work (section 21). These attachments has been removed based on the legal clauses (621/1999) 24§ sections 17, 20 and 21.</p>		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Yritys	4
2.1	Vexve Oy	4
2.2	Tuotteet	7
3	SPC:n perusteet	9
3.1	Prosessin määritelmä	9
3.2	Prosessiajattelu	9
3.3	SPC:n historia	10
3.4	Tilastollinen ajattelu	11
4	SPC:n käsitteet	12
4.1	Peruskäsitteet	12
4.2	Prosessin häiriöt	14
5	SPC:n toteutus	15
5.1	Valvontakortit	15
5.1.1	Valvontakortin määritelmä	15
5.1.2	Valvontakortit käytön mukaan	15
5.1.3	Muuttujakortit	16
5.1.4	Ominaisuuskortit	17
5.2	Valvontakorttien käyttöönotto	17
5.2.1	Korttityypin valinta	17
5.2.2	Valvontakortin vieminen käytäntöön	20
5.3	Valvontarajat	20
5.3.1	Valvontarajat käytön mukaan	20
5.3.2	Liukuva prosessi	21
5.3.3	Ajelehtiva prosessi	22
5.3.4	Valvontarajojen päivittäminen	22
5.3.5	Hallinnassa oleva prosessi	23
5.4	Erityisyyshavainnon käsittely	23
5.4.1	Erityisyyyn paikantaminen	23
5.4.2	Erityisyyden poistaminen	24
6	Gage R&R-testi	24
7	SPC:n soveltaminen tiivisteiden valmistusprosessissa	25
7.1	Työn toteutus	25
7.2	Nykytilan analysointi	26
7.3	Prosessikuvaus	27

7.4	Mittauspisteet	27
7.4.1	Työskentely mittauspisteellä	27
7.4.2	Mittauspisteiden määrittely	28
7.5	Tiedonkeruu	28
7.6	Valvontakorttityypin valinta ja kortin luonti	29
7.7	Ohjausrajojen laskenta	30
7.8	Laatutaulu	31
7.9	Gage R&R-testi	32
8	Johtopäätökset ja pohdinta	33
	Lähteet	36
	Liitteet	37
Liite 1.	Tiivisteen valmistusprosessin työvaiheet	37
Liite 2.	Mittauspisteen 1 mittausohje	37
Liite 3.	Mittauspisteen 2 mittausohje	37
Liite 4.	Mittauspisteen 5 mittausohje	37
Liite 5.	Laatutaulun esitietolomakkeen täyttöohje	37
Liite 6.	Mittauspisteet	37
Liite 7.	Laatutaulun esitietolomake 1	37
Liite 8.	Laatutaulun esitietolomake 2	37
Liite 9.	Laatutaulun esitietolomake 3	37
Liite 10.	Laatutaulun esitietolomake 4	37
Liite 11.	Laatutaulun esitietolomake 5	37
Liite 12.	Valvontakortin tiedot välilehti	37
Liite 13.	Mittauspisteiden kuvaajat	37
Liite 14.	Mittausepävarmuuden määrittely	37

Kuviot

Kuvio 1.	Vexven tuotteiden käyttökohteet (Vexve yritys esittely, 2015)	5
Kuvio 2.	Sastamalan tehtaat (Vexve yritys esittely, 2015)	5
Kuvio 3.	Laitilan tehdas (Vexve yritys esittely, 2015)	6
Kuvio 4.	Vexven historia (Vexve yritys esittely, 2015)	6
Kuvio 5.	Vexven palloventtiilit (Tuotteet, palloventtiilit, 2016)	7
Kuvio 6.	Vexven läppäventtiilit (Tuotteet, läppäventtiilit, 2016)	8
Kuvio 7.	Hydrox toimilaitteet (Tuotteet, hydrauliset toimilaitteet, 2016)	8

Kuvio 8. Prosessin osatekijät (Salomäki 1999, 118)	9
Kuvio 9. Korttityypin valintakaavio (Salomäki 1999, 221)	18
Kuvio 10. Läppäventtiilin tiiviste	26
Kuvio 11. Tiivisteiden valmistusprosessin vaiheet	27
Kuvio 15. Mittauspisteen 5 kuvaaja	30
Kuvio 16. Tuotannon laatutaulu	32
Kuvio 17. Mittauspisteen 5 kuvaaja	34

Taulukot

Taulukko 1. Mittauspisteen 5 tiedot	30
Taulukko 2. Ohjausrajat näyte-erille	31

1 Johdanto

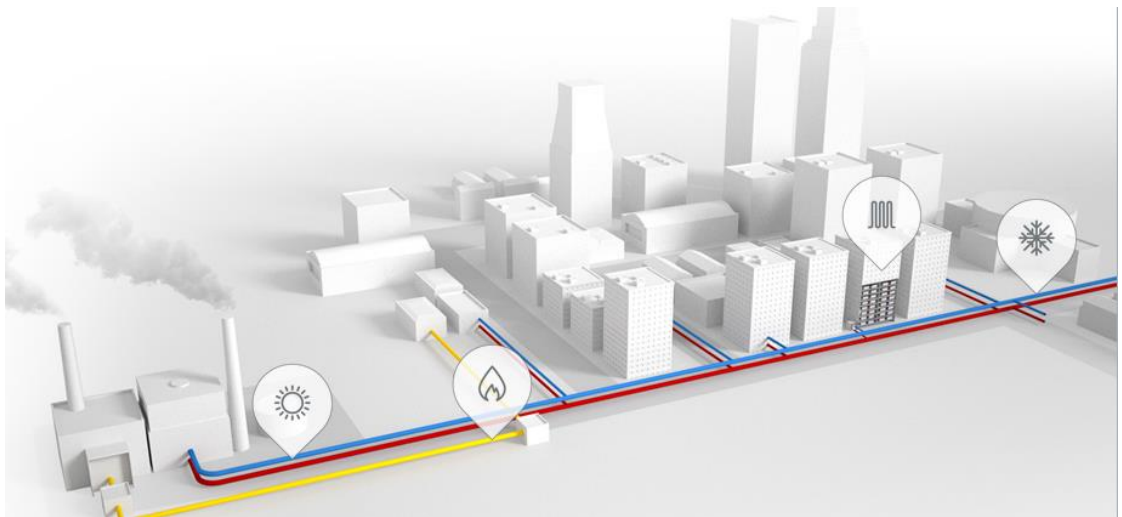
Opinnäytetyö on tehty Sastamalassa sijaitsevalle Vexve Oy:lle. Tarkempi yritysesitys löytyy luvusta 2.1. Opinnäytetyö on jaettu kahteen osa-alueeseen, joista ensimmäinen käsittelee tilastollisen prosessin ohjausmenetelmän eli SPC:n teoriaa ja toinen osio käsittelee työn suoritusta läppäventtiilitehtaalla.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia SPC-menetelmän soveltuvuutta Vexven tuotantoon. Lisäksi opinnäytetyöhön kuului SPC-menetelmän käyttöönotto tehtaalla. SPC-menetelmällä tutkittiin läppäventtiilin tiivisteiden laatuvariaatiota eri työvaiheissa ja pyrittiin löytämään vaihtelun juurisyitä. Opinnäytetyö tehtiin osana tiivisteiden kehitystyötä, joka on yksi osa-alue työn alla olevasta läppäventtiilin kehitysprojektista. Keskeinen asia opinnäytetyössä oli löytää Vexvälle sopivin tapa toteuttaa SPC:tä.

2 Yritys

2.1 Vexve Oy

Vexve Oy on maailman johtava laadukkaiden kaukolämpö- ja kaukokylmäventtiilien valmistaja. Vexven tuotevalikoimaan kuuluvat lisäksi venttiilit öljy- ja kaasuverkostoihin ja lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin sekä säätöratkaisut vesikiertosiin järjestelmiin. Vexven venttiiliratkaisut ovat osa toimintavarmaa ja kokonaistaloudellisesti optimoitua energian jakeluverkostoa, ulottuen aina kaukolämpövoimaloista ja jäähdytyslaitoksilta pumppaamoille sekä yksittäisille kotitalouksille asti. (Vexve Oy 2016.)



Kuvio 1. Vexven tuotteiden käyttökohteet (Vexve yritysesittely, 2015)

Vexven kaikki tuotteet ja palvelut edistävät energian säästön ohella päästöjen vähentämistä sekä edustavat korkealaatuista suomalaista cleantech osaamista. Vexve tunnetaan laajalti tuotteiden laadusta, nopeista toimituksista ja huippuluokkaisesta asiakaspalvelusta. Vexven pääkonttori sekä kaksi tehdasta sijaitsevat Sastamalassa ja yksi tehdas Laitilassa. (Vexve Oy 2016.)



Kuvio 2. Sastamalan tehtaات (Vexve yritysesittely, 2015)



Kuvio 3. Laitilan tehdas (Vexve yritysesittely, 2015)

Vexve on perustettu vuonna 1960. Aluksi toiminta oli LVI-urakointia, kunnes vedenmittausjärjestelmien valmistaminen aloitettiin vuonna 1982. Palloventtiilituotanto aloitettiin vuonna 1990 ja läppäventtiileiden valmistus alkoi toisen tehtaan rakentamisen myötä vuonna 2004. Vexve laajeni Naval Oy:n yritysoston myötä vuonna 2014. Liperiin rakennettiin tehdas pienten palloventtiilien tuotantoa varten vuonna 2008, jota laajennettiin edelleen vuonna 2010. Liperin tehtaan toiminnot siirrettiin Laitilaan Naval Oy:n oston myötä, koska Navalin Laitilan tehdas kattoi pienten palloventtiilien valmistustarpeen. (Vexve Oy 2016.)



Kuvio 4. Vexven historia (Vexve yritysesittely, 2015)

Nykyisin Vexve:n liikevaihto koostuu edelleen pääosin pallo- ja läppäventtiilituotannosta. Vexven tuotteista noin 75 % menee vientiin ja jälleenmyyjäverkosto kattaa yli 30 maata. Suurimpia vientikohteita ovat Kiina ja Lähi-Itä. (Vexve Oy 2016.)

2.2 Tuotteet

Vexven palloventtiilivalikoimaan kuuluvat venttiilit kokoluokassa DN10 – DN800. Palloventtiilit ovat saatavana hitsipäillä EN- sekä GOST-standardien mukaisesti kierrelaitoksella tai laippaliitoksella. Venttiilin käyttö vaihtoehdot ovat kahvalla, käsivaihteella, sähköisellä toimilaitteella tai hydraulisella toimilaitteella. (Vexve Oy 2016.)



Kuvio 5. Vexven palloventtiilit (Tuotteet, palloventtiilit, 2016)

Vexven läppäventtiilivalikoimaan kuuluvat venttiilit kokoluokassa DN300 – DN1400. Läppäventtiilit ovat saatavissa hitsipäillä EN- sekä GOST-standardien mukaisesti tai laippaliitoksella. Läppäventtiilit voidaan toimittaa joko käsivaihteella, sähköisellä toimilaitteella tai hydraulisella toimilaitteella. (Vexve Oy 2016.)



Kuvio 6. Vexven läppäventtiilit (Tuotteet, läppäventtiilit, 2016)

Vexven Hydrox hydraulinen toimilaitte on suunniteltu erityisesti kaukolämpö- ja kaukokylmäsovelluksiin. Hydraulisen toimilaitteen etuja ovat vähäinen kunnossapitotarve sekä turvallisuus maanalaisissa asennuksissa. Hydraulista toimilaitetta voidaan ohjata käsi- tai etäkäyttöisesti. (Vexve Oy 2016.)



Kuvio 7. Hydrox toimilaitteet (Tuotteet, hydrauliset toimilaitteet, 2016)

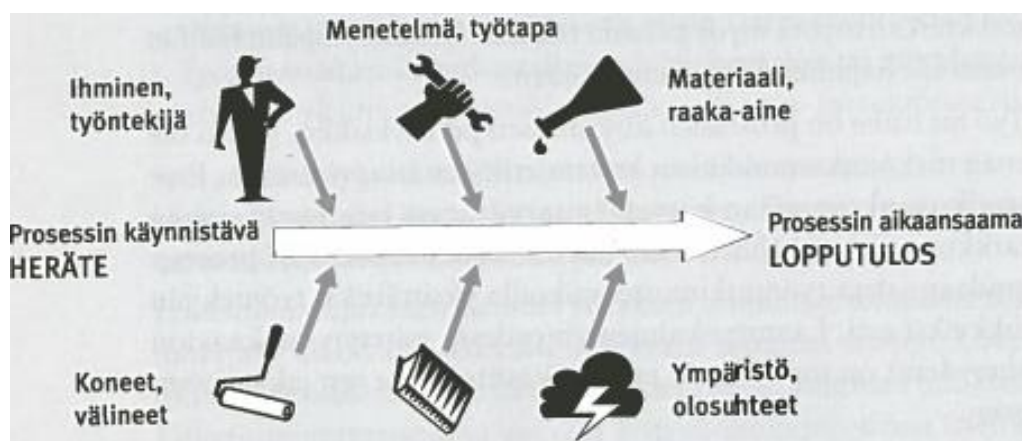
3 SPC:n perusteet

3.1 Prosessin määritelmä

Toisiinsa liittyvien tapahtumien ketjua, joilla saadaan tuotettua ennaltamääritelty lopputulos, kutsutaan prosessiksi. Tuotantotaloudessa prosessi on toimintaketju, joka syntyy palvelun tai tuotteen aikaansaamiseksi. (Tuurala 2010.)

3.2 Prosessiajattelu

Prosessiajattelussa tavoitteena on tarkastella tuotteen tekemiseen liittyvää kokonaisuutta ottaen huomioon kaikki osatekijät. Työprosessin kokonaisuus muodostuu seuraavista osatekijöistä: ihmiset, materiaali, koneet, menetelmät, tieto sekä ympäristö (ks. kuvio 1). Organisaation jäsenten on tärkeää ymmärtää kokonaisuus, mutta yhtä tärkeää heidän on ymmärtää erikseen jokaiselle osatekijälle asetetut odotukset yhteisten päämäärien ja tavoitteiden saavuttamiseksi. Muutokset yhdessäkin osatekijässä vaikuttavat lopullisen tuotteen laatuun. Prosessiajattelu onkin nykyaikana keskeinen vaatimus laadukkaiden tuotteiden valmistukselle. (Salomäki 1999, 10, 117-118).



Kuvio 8. Prosessin osatekijät (Salomäki 1999, 118)

Prosessiajattelussa tärkeänä osana on sisäistää lisäksi jatkuvan prosessikehityksen vaiheet (Statistical Process Control (SPC), 16).

1. Analysoi prosessia
 - Mitä prosessin pitäisi tehdä?
 - Mikä voi olla väärin?
 - Mitä prosessi tekee?
 - Määrittele kapasiteetti.
2. Kehitä prosessia
 - Tarkkaile ja valvo prosessin tehokkuutta ja suorituskykyä
 - Havaitse erikoisvaihtelut ja toimi niiden mukaisesti
3. Paranna prosessia
 - Muuta prosessia ymmärtämään paremmin yleisestä syystä johtuvaa vaihtelua
 - Vähennä yleisistä syistä johtuvaa vaihtelua

3.3 SPC:n historia

Tilastollisen prosessinohjauksen eli SPC:n kehittäjänä voidaan pitää amerikkalaista Walter Andrew Shewhartia (1891 - 1967). SPC:n idean ja toimintaperiaatteen hän kehitti työskennellessään puhelinvalmistaja Western Electricin alaisuudessa 1920-luvulla. Tehtaalla työskennellessään hän perehtyi laadunvalvontaongelmiin. Tällöin haluttiin kehittää laadukkaampia tuotteita, jotta valmiiden tuotteiden hylkäysprosentti pienenesi. Shewhart lähti tutkimaan laadunvalvonnan tuloksia tilastollisilla menetelmillä sen sijaan, että olisi etsinyt yksinkertaisesti syitä huonojen ja vialliset tuotteiden valmistumiseen sekä säätänyt prosesseja. Tilastollisilla menetelmillä Shewhart sai selville tulosten käyttäytyvän normaalijakauman mukaisesti. Ongelmat johtuivat hyvin usein liian suuresta prosessin vaihtelusta ja prosessin säätäminen sai aikaan lisää vaihtelua ja yhä epätasaisempaa laatua. Hän tuli lopputulokseen, jossa huono prosessi ei kehity parempaan suuntaan, jos sitä säädetään jokaisen virheellisesti valmistetun tuotteen perusteella. Prosessin säätämisen tulee tapahtua vaihtelun keskiarvon perusteella ja suorituskykyä tulee mitata vaihtelun leveyden avulla. (Salomäki 1999, 170).

SPC:tä hyödynnettiin toisessa maailmansodassa sotateollisuuteen. Aika pian tämän jälkeen käyttö kuitenkin väheni ja unohtui, koska tavaroiden kysyntä oli kovaa ja raaka-aineita sai halvalla. Oli varaa tuhlata tehottomaan toimintaan. Menetelmän hyödyntäminen olikin heikkoa 1950-luvulle saakka, jolloin japanilaiset huomasivat

SPC:n merkityksen. SPC:n avulla japanilainen teollisuus nousi hyvin nopeasti laadukkaaksi ja tehokkaaksi. (Salomäki 1999, 171).

1970-luvulla myös länsimaat oivalsivat SPC -menetelmän nerokkuuden ja hyödyllisyyden. Menetelmää lähdettiin asteittain hyödyntämään yhä enemmän laajemmalla alueella. Suomessa menetelmän käyttöönotto oli verrattain hidasta ja todelliseen käyttöön se tuli vasta 80- ja 90-lukujen taitteessa kansainvälistymisen johdosta. Tietotekniikan ja sen jatkuvat kehityksen ansiosta laskeminen ja menetelmän soveltaminen on yhä helpompaa. (Salomäki 1999, 171-172).

3.4 Tilastollinen ajattelu

Tilastollisen ajattelun voidaan sanoa koostuvan kolmesta periaatteesta (Karjalainen & Karjalainen 2010,10):

1. Kaikki tehtävä työ on jono toisiinsa sidottuja prosesseja
2. Prosessit ovat vaihtelevia
3. Prosessin vaihtelun pienentämisessä tarjoutuu mahdollisuus parantaa työn tekoa ilman, että siitä koituu mitään tuhoa tai pelkoa muissa

Tilastollisen ajattelun voidaan katsoa muodostavan täysin uuden ajattelutavan ihmisten keskuudessa. (Karjalainen & Karjalainen 2010, 10).

Tilastotieteessä tutkitaan tilastojen keräämistä, käsittelyä sekä tilastoista tehtäviä johtopäätöksiä. Kuvailevassa tilastotekniikassa kuvataan tilastoa tunnuslukujen ja kuvioiden avulla. Tapahtumien todennäköisyyden määrittelevät tilastotieteeseen kuuluvat todennäköisyysteorialat. Tilastollisen päätöksenteon sanotaan perustuvan tietojen oikeaan yleistämiseen sekä epävarmuuden määrittämiseen. Käytännön tuotantoprosessiin sovelletaan tilastotiedettä tilastollisten laatumenetelmien avulla. (Salomäki 1999, 165).

4 SPC:n käsitteet

4.1 Peruskäsitteet

Perusjoukko, alkio

Perusjoukolla tarkoitetaan kaikkia valmistuneita ja tulevaisuudessa valmistuvia samanlaisia tuotteita, jotka ovat asetettu tutkittavaksi. Alkiolla taas tarkoitetaan yksittäistä osaa perusjoukosta. (Salomäki 1999, 178)

Näyte, näyte-erä

SPC-menetelmässä näytteellä tarkoitetaan yksittäistä tulosta. Näytteistä, jotka käsitellään yhdessä, käytetään nimitystä näyte-erä. Ennen tilastollista tarkastelua on prosessista kerättävä yleensä vähintään 20 näyte-erää. (Salomäki 1999, 178)

Keskiarvo

Yleensä SPC-menetelmässä käytetään aritmeettista keskiarvoa. Keskiarvo saadaan laskemalla kaikki mittaustulokset yhteen ja jakamalla summa tulosten lukumäärällä. Aritmeettinen liukuva keskiarvo muodostetaan siten, että uusi tulos pudottaa aina vanhimman tuloksen pois. Painotetussa keskiarvossa uusinta tulosta painotetaan enemmän kuin aiempia tuloksia. Joskus käytetään myös mediaania, joka tarkoittaa suuruusjärjestyksessä keskimmäisen luvun arvoa tai parillisen lukujoukon kahden keskimmäisen keskiarvoa. (Salomäki 1999, 179)

Vaihteluväli

Vaihteluväli R tarkoittaa havaintoaineiston suurimman ja pienimmän tuloksen välistä erotusta (kaava 1). Vaihteluväliä kuvaavan luvun arvo on aina nolla tai suurempi positiivinen luku. Vaihteluväli lasketaan näyte-erän suurimman ja pienimmän arvон erotuksena. (Salomäki 1999, 180.)

$$R_n = \max(x_{n1}; x_{n2}; \dots; x_{nk}) - \min(x_{n1}; x_{n2}; \dots; x_{nk}) \quad (1)$$

n = näyte-erän järjestysnumero

k = näyte-erän näytemäärä

Keskihajonta

Keskihajonta on matemaattinen tunnusluku, joka ilmaisee tulosten hajaantumisen keskiarvonsa molemmin puolin. Mitä suurempi keskihajonta, sitä suuremmalle alueella tulokset ovat hajaantuneet (kaava 2). (Salomäki 1999, 180.)

(2)

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}}{N}$$

σ = perusjoukon keskihajonta

N = perusjoukon koko

x_i = yksittäisen näytteen mittaustulos

\bar{x} = mittaustulosten keskiarvo

Toleranssirajat

Spesifikaatiossa tuotteelle määritelty ylä- ja alaraja, jonka ylittävä tai alittava tuote on hylättävä tai muuten erikseen tarkastettava ennen hyväksymistä. Spesifikaatio voi määritellä myös vain toisen rajan, jolloin kyseessä on minimi- tai maksimiarvo. (Salomäki 1999, 183)

Normaalijakauma

Normaalijakauma on SPC-menetelmässä käytettävä keskeinen tilastotieteen käsite, jonka keksi saksalainen matemaatikko ja fyysikko Carl Friedrich Gauss (1777 – 1855). Satunnaisvaihtelun säännönmukaisuutta koskevaa lakia kutsutaan gaussin jakaumaksi ja sen viiva esitystä eli tiheysfunktion kuvaajaa Gaussin käyräksi eli kellokäyräksi. (Salomäki 1999, 184)

4.2 Prosessin häiriöt

Yleinen syy

Yleiset syyt ovat prosessiin koko ajan vaikuttavia syitä, jolloin se aiheuttaa prosessille normaalia vaihtelua eli kohinaa. Kohina vaihtelee keskiarvonsa ympärillä muodostuen normaalijakauman. Tällöin kohinalle voidaan määritellä rajat, jotka kuvaavat prosessin luonnollisen vaihtelun määrää. Luonnollisen vaihtelun aiheuttamaa kohinaa ei pidä lähteä pienentämään etsimällä yksittäiseen mittaustulokseen vaikuttanutta häiriötä. Yksittäisestä mittaustuloksesta saadun häiriön sijasta kehitystoimenpiteet on kohdistettava itse prosessiin, jonka seurauksena vaihtelua saadaan vähennettyä. (Salomäki 1999, 192).

Eriytynen syy

Eriyiset syyt ovat äkillisestä häiriöstä johtuvia poikkeamia, jotka eivät ole prosessissa normaalisti mukana. Eriytynen syy erottuu luonnollisesta vaihtelusta poikkeavana piikkinä. Prosessia ei pidä säätää erityisyysignaalin perusteella, vaan juurisyy häiriön aiheuttajalle pitää löytää ja pyrkiä poistamaan sen vaikutus sekä uusiutumismahdollisuus. Mikäli prosessissa esiintyy suurta kohinaa, voi se peittää myös erityissyitä. Mitä pienempi luonnollinen kohina on, sitä helpompi erityisyys on havaita prosessista. (Salomäki 1999, 193).

α ja β virheet

Kun tilanteeseen reagoidaan väärin, kutsutaan sitä α -virheeksi, jolloin esimerkiksi laadunvalvonta hylkää tuote-erän, vaikka se oikeasti olisikin täyttänyt vaatimukset. β -virheeksi kutsutaan tilannetta, jolloin johonkin asiaan jätetään reagoimatta. Näin tapahtuu esimerkiksi silloin, kun prosessin poikkeama todetaan erityisyyksi, mutta prosessia ei laiteta kuntoon. Näitä virheitä kutsutaan myös aliohjaukseksi, josta aiheutuu prosessissa olevan ongelman kasvua entisestään. Jos halutaan minimoida epäkuranttien tuotteiden pääsy markkinoille, joudutaan lisäämään hyvienkin tuotteiden hylkäämistä. (Salomäki 1999, 194 –195)

5 SPC:n toteutus

5.1 Valvontakortit

5.1.1 Valvontakortin määritelmä

Valvontakortteja käytetään menetelmänä, kun pyritään tunnistamaan vaihtelun lajit prosesseista. Valvontakorttien avulla määritellään lisäksi prosessin ennustettavuutta ja kerätään tietoa sen vaiheista sekä ominaisuuksista. (SPC – Tilastollinen Prosessin ohjaus).

5.1.2 Valvontakortit käytön mukaan

Tuotantoprosesseissa käytetään valvontakortteja monenlaisilla tavoilla. Kortit voidaan käyttötarkoituksen mukaan jakaa viiteen ryhmään (Salomäki 1999, 213- 214):

1. Raporttivalvontakortit

Raporttivalvontakorteilla raportoidaan menneisyyttä eli kerätään tietoja prosessin toteutumista; miten asiat ovat menneet. Jos halutaan tehdä tilastollisia johtopäätöksiä, on korteista poistettava erityisyyt sekä määriteltävä hajonta. Tämä on useimmiten ensimmäinen kortti, joka prosessista laaditaan.

2. Säästövalvontakortit

Säästövalvontakorteilla kuvataan mittaustuloksia sekä keskiarvoja graafisesti. Korttien avulla prosessia pyritään säätämään kohti tavoitearvoja. Kortti esittää numerotietoa, jolloin siihen ei lasketa valvontarajoja, jolloin erityisyyttä ei ole mahdollista havaita. Tällä pyritään yhdenmukaistamaan prosessia, mikä saattaa johtaa myös tilanteeseen, jossa tehdään ylimääristä säätelyä ja saadaan aikaan lisääntyntä vaihtelua.

3. Kokeiluvalvontakortit

Kokeiluvalvontakorteilla tutkitaan aineistoa, jota on kerätty ennalta määritellyn kokeilujakson aikana. Kokeiluvalvontakortit on tarkoitettu yksinkertaiseen kerä-

tyn tiedon analysointiin ja niiden on tarkoitus antaa tietoa keskiarvon sekä vaihtelun muuttumisesta kokeilujakson aikana. Kortti ei ole niin tehokas kuin jotkin kehittyneemmät analysointimenetelmät, mutta on sitäkin helppokäyttöisempi ja tuloksia pystytään tulkitsemaan ilman vaativia menetelmiä ja tilastotieteen vahvempaa tuntemusta.

4. Seurantavalvontakortit

Seurantavalvontakortteja käytetään useita samanaikaisesti ja tulokset otetaan joko kaiseen samalla kerralla. Esimerkiksi riippuvuuksien selvittämiseksi kokeilun aikana kannattaa käyttää useampaa valvontakorttia samanaikaisesti. Useaa korttia käytettäessä voidaan myös etsiä sopivia vaihtoehtoja pysyvään käyttöön tarkoituksi kortiksi.

5. Jatkuvan parantamisen valvontakortit

Jatkuvan parantamisen valvontakortteja käytetään säännöllisesti ja pitkäaikaisesti. Näillä seurataan usein prosessin tärkeimpiä muuttujia. Kyseisiä valvontakortteja voidaan käyttää tehokkaina työkaluina prosessin muutoksien sekä erityisyyden havaitsemisessa.

5.1.3 Muuttujakortit

Muuttujakortteja käytetään mittaamaan prosessissa esiintyvää suuretta. Suure voi olla mikä tahansa kunhan se mitattavissa jollakin mittausmenetelmällä. Yleisimmät muuttujakorttityypit ovat:

- x/R-kortti
- x/MR-kortti
- x/s-kortti
- x-kortti

Kortilla pyritään osoittamaan että onko prosessi hallinnassa ja esiintyykö erityisyyttä. Erityisyyt ilmenevät kortista valvontarajojen ylityksinä. (Salomäki 1999, 214-215)

5.1.4 Ominaisuuskortit

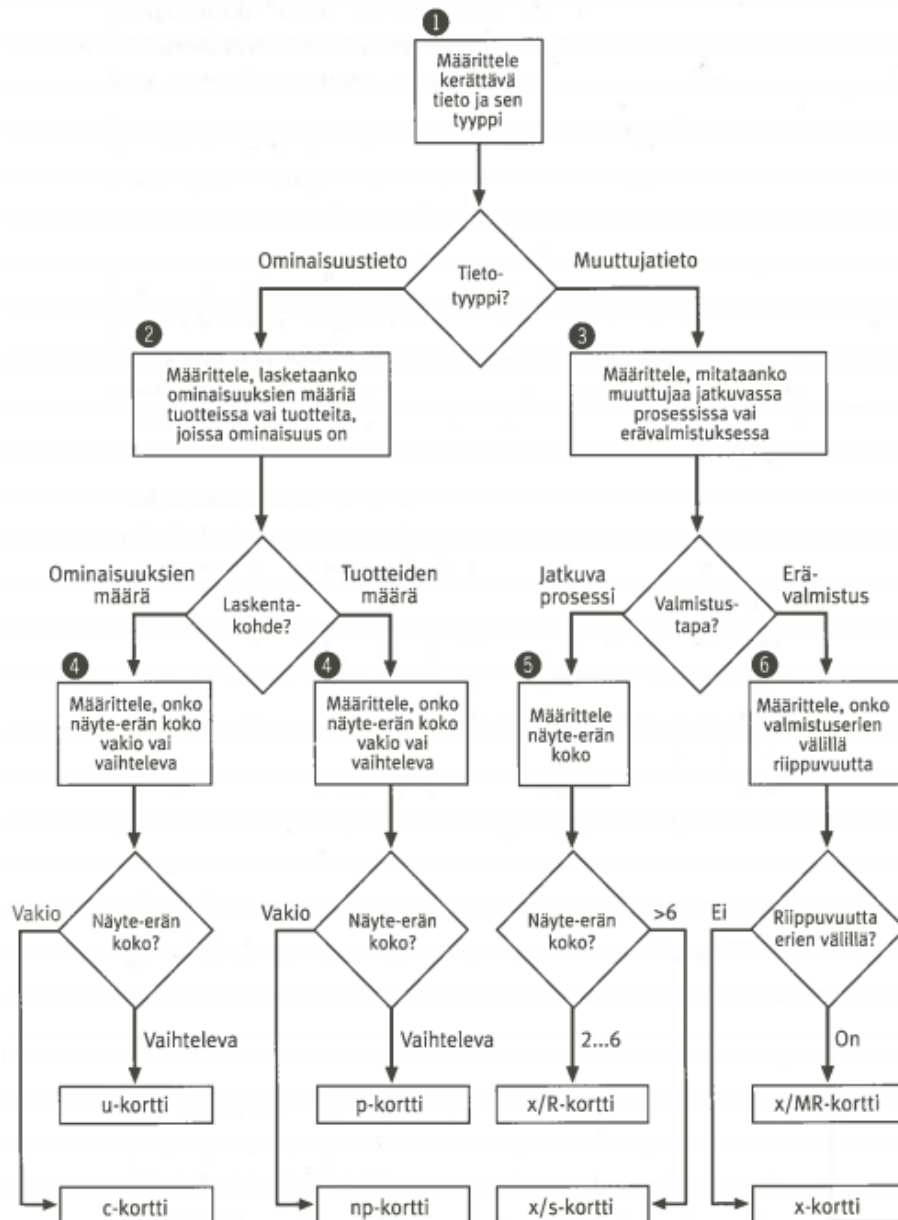
Lukumäärinä esitettävän tiedon käsittelyyn käytetään ominaisuuskortteja. Ominaisuuskorttien käyttökohteet voidaan jakaa kahteen ryhmään. Voidaan laskea tuotteessa esiintyviä tai siitä puuttuvia ominaisuuksia. Esimerkiksi virheiden lukumäärä tutkittavaksi valitusta näyte-erästä. Yhdessä kappaleessa voi esiintyä useampia virheitä, jolloin virheiden määrä voi olla suurempi kuin näyte-erän tuotteiden lukumäärä. Voidaan myös laskea tuotteita, joissa esiintyy tai puuttuu jokin tietty ominaisuus. Esimerkiksi virheellisten tuotteiden lukumäärä näyte-erästä tai koko päivän tuotannosta. (Salomäki 1999, 216-218). Yleisimpiä ominaisuuskortteja ovat:

- c-kortti
- u-kortti
- p-kortti
- np-kortti

5.2 Valvontakorttien käyttöönotto

5.2.1 Korttityypin valinta

Yksi SPC:n tärkeimmistä vaiheista on valita oikeanlainen valvontakortti, joka laaditaan valmiita malleja ja työntekijöiden tietoja apuna käyttäen. Alla listatut vaiheet viittaavat valvontakortin valintakaavioon (Salomäki 1999, 218-220):



Kuvio 9. Korttityypin valintakaavio (Salomäki 1999, 221)

- Aluksi selvitetään ja hahmotellaan kerättävän tiedon ominaisuudet sekä selvitetään, minkälaisilla mittareilla tietoa halutaan mitata. Alussa on tärkeää pyrkiä keräämään muuttujatietoja. Mikäli tämä ei sovellu, voidaan myös aloittaa ominaisuustietojen keräämisellä. Prosessisuureilla, joita käytetään prosessin tilan kuvaamiseen, voidaan luultavasti myöhemmässä vaiheessa prosessia tunnustaa joitakin muuttujia.

- Ominaisuustietojen keräämisessä tulee määritellä, kerätäänkö ominaisuuksien määrätietoa vai ominaisuuden sisältävien tuotteiden määrätietoa. Kun ominaisuuksien määrätietoja määritellään, tuotteet luokitellaan eri luokkiin ja tiedetään tarkasti eri luokkiin sijoittuvien tuotteiden määrä. Kun taas määritellään ominaisuuksien määrätietoa, tiedetään havaintojen määrä, mutta vastalukua ei voida määritellä tuotteessa olevien useiden ominaisuuksien vuoksi.
- Kun muuttujatietoa kerätään, on määriteltävä kerätäänkö tietoa prosessista vai erävalmistuksesta. Prosessin ollessa jatkuva, eriä ei voida erotella selkeästi toisistaan ja niiden jäljittäminen perustuu esimerkiksi kellonaikaan tai laskuriin. Mikäli kyseessä on jatkuva prosessi, on huomioitava, että prosessin luonne voi muuttua valmistusketjun aikana.
- Muuttujatietoja kerätessä on määriteltävä onko näyte-erän koko vakio vai voiko sen koko vaihdella.
- Jatkuvassa prosessissa näyte-eriä voi olla yksi tai useampia. Mikäli näyte-eriä on vain yksi, käytetään erävalmistusten valvonnassa x/MR-korttia. Keinotekoisia näyte-eriä voidaan luoda muodostamalla viiden peräkkäisen havainnon liukuvaa sarjaa. x/R-korttia käytetään usein vain, mikäli näyte-erien koko on 4-6. Erän ollessa yli 6, tulisi käyttää x/s-korttia. Selvää rajaa on kuitenkin turha lähteä määrittelemään, ja parhain ohje onkin löytää oikea kortti testaamalla.
- Erävalmistuksessa määritellään, onko erien muuttujien välillä jonkinlainen riippuvuus vai onko kyseessä yksilölliset muuttujat. Riippuvuus voi olla sellaista, jossa prosessin säädöt säilyvät erästä toiseen samana, eikä oletusarvoja jouduta määrittelemään uudelleen. Riippumattomina on mahdollista käsitellä sellaiset erät, joiden keskiarvo voi vaihdella itsenäisesti. Toisessa tapauksessa valmistusjärjestystä ei voida tietää riittävän tarkasti, kun yksittäiset näytteet saapuvat mitattaviksi epämääräisessä järjestyksessä. Mikäli mitään muuta korttityyppiä ei voida käyttää, voidaan hyödyntää x-korttia.

5.2.2 Valvontakortin vieminen käytäntöön

Valvontakortit voidaan ottaa tehokkaaseen käyttöön vasta, kun ympäristö ja prosessi sen mahdollistavat. Tähän on edellytyksenä, että prosessiajattelu on omaksuttu, prosessi on kuvattu ja se on tunnistettu osaksi kokonaisuutta. Kortin käyttöönotto on aina harkittava tarkoin. Ennen kortin käyttöönottoa olisi erityisen tärkeää, että prosessin henkilöstö sekä erityisesti sen käyttäjät olisivat mukana kortin laatimisessa. (Salomäki 1999, 223- 224).

Monissa tapauksissa huonot kokemukset valvontakorttien käyttöönotossa liittyvät koulutuksen ja tiedon vähäisyyteen. Monissa yrityksissä, joissa prosessin säätöä on hoidettu näppituntumalla, saatetaan kavahtaa sanaa valvonta, eikä vähäisen tiedon ja osaamisen puutteen vuoksi vanhoista tavoista haluta luopua. Valvontakorttien käyttöönotossa varsinkin seuraavat asiat tulee ottaa vahvasti huomioon: johdon tuki, käyttäjäkoulutus ja ohjeistus, prosessin selkeä määrittely, valvottavien suureiden tunnistaminen mittaussysteemin arviointi, vaihtelun minimointi, tiedonkeräysmenetelmien määrittäminen, käytettävä tekniikka, valvontakortin sisältö ja tunnisteen, käytettävät kuvaajat ja asteikot sekä riittävä testaaminen. (Salomäki 1999, 224- 227).

5.3 Valvontarajat

Lower Control Limit eli alavalvontaraja (LCL) ja Upper Control Limit eli ylävalvontaraja määritellään mittaustulosten perusteella lasketun keskihajonnan estimaatin avulla. Vaikka tuotantoprosessi olisi hallinnassa, on mahdollista, että siitä valmistuu niin hylättäviä kuin hyväksytyjä tuotteita. Valvontarajat on määriteltävä, jotta voitaisiin nähdä, onko kyseinen prosessi hallinnassa vai ei. (Salomäki 1999, 208).

5.3.1 Valvontarajat käytön mukaan

Valvontarajat voidaan käyttötarkoituksen perusteella jakaa viiteen eri ryhmään (Salomäki 1999, 208-209):

1. Raporttivalvontarajat

Raporttivalvontarajojen muodostamiseen vaaditaan riittävä määrä mittaustuloksia, joita saadaan esimerkiksi mittausraporteista. Rajoilla kuvataan esimerkiksi prosessin nykytilaa, miten prosessi toimii ja on toiminut. Niihin otetaan mukaan kaikki tulokset ja vaihtelut, myös mittausjärjestelmistä ja erityisyyistä johtuvat.

2. Tuotantovalvontarajat

Siinä vaiheessa, kun tuotanto ja prosessi ovat hallinnassa, voidaan tuotantoprosessin tulevan tason arviointiin laatia tuotantovalvontarajat. Rajoja päivitetään sitä mukaan, kun prosessi muuttuu, siihen asti rajat määritellään pysyviksi.

3. Jatkuvan parantamisen valvontarajat

Jatkuvan parantamisen valvontarajoilla tarkoitetaan periaatteessa samaa kuin tuotantovalvontarajoilla, mutta näitä päivitetään aktiivisesti. Jatkuvan parantamisen valvontarajojen tavoitteena on pienentää hajontaa, joka näkyy valvontarajojen lähestymisenä vaihtelun keskiarvoa.

4. Apuvalvontarajat

Erilaisia apuvalvontarajoja määritellään valvontakorttien tulkinnan helpottamiseksi. Esimerkiksi yhden ja kahden sigman rajat

5. Pre-Control -valvontarajat

Mikäli prosessissa käytetään Pre Control -valvontarajoja, rajataan toleranssi-alueesta alin ja ylin neljännes pysäytysrajoiksi kutsutuilla rajoilla. Menetelmää ei suoranaisesti lasketa SPC:ksi, mutta sen käyttö perustuu tilastolliseen todennäköisyyteen ja on helposti automatisoitavissa.

5.3.2 Liukuva prosessi

Tilannetta, jossa mittaustulosten keskiarvo siirtyy jonkin luonnollisen syyn vuoksi kohti toleranssirajaa tai poispäin sieltä, voidaan kutsua liukuvaksi prosessiksi. Tuloksissa voidaan siis nähdä nouseva tai laskeva suuntaus. Liukuva prosessi saa aikaan epämurkavia asioita, jotka saattavat haitata SPC:n soveltamista. Esimerkiksi valvonta-

rajoja ja suorituskkyä ei voida normaalin kortin tapaan määritellä eikä histogrammil-
la määritelty jakauma näytä normaalijakautuneelta. (Salomäki 1999, 210).

Voisi ajatella, että SPC:n käyttö ei sovellu kyseisissä tilanteissa, mutta saattaa jopa
olla että SPC saattaa tuoda aivan uusia ulottuvuuksia liukuvan prosessin hallintaan.
Muutamit valvontakorttityypit soveltuvat tällaiseen tarkoitukseen (Salomäki 1999,
210):

- Liukuman kompensoiva xz_c / MR -kortti
- Valvontarajat liukuman suuntaan laskeva xz / MR -kortti
- Vain liukuman huonoimman tapauksen huomioiva x_w / MR -kortti

x = selittävä muuttuja

z = liukuva muuttujan arvo

z_c = liukumattomaksi kompensoitu liukuvan muuttujan arvo

x_w = liukuvan muuttujan arvon pahin tapaus

5.3.3 Ajelehtiva prosessi

Ajelehtivassa prosessissa mittaustulosten keskiarvo muuttuu ja vaihtelee pitkällä
aikavälillä prosessista itsestään johtuvista syistä, jolloin prosessia ei näin ollen voida
pitää vakaana. Tyypillinen syy mittaustulosten ajelehtimiseen voi olla ilman kosteu-
den tai lämpötilan vaikutus koneen välyksiin ja kitkoihin, materiaalin ominaisuuksiin
tai esimerkiksi tuotteen kuivumiseen. Valvontakorttien avulla voidaan silmämääräi-
sesti havaita pitkän aikavälin hidasta ajelehtimistä, jos tuloksia saadaan samaan ku-
vaajaan riittävästi. Kun ajelehtiminen on opittu tuntemaan, voidaan valvontakortteja
hyödyntää. Esimerkiksi liukuvan prosessin kortilla pystytään kompensoimaan ja
huomioimaan muutoksia. (Salomäki 1999, 210-211).

5.3.4 Valvontarajojen päivittäminen

Mikäli prosessissa itsessään tapahtuu sellainen muutos, joka muuttaa prosessin suo-
rituskkyä, voidaan kerran määriteltyjä valvontarajoja käyttää. Valvontarajojen uu-
delleenkäyttö perustuu oletukseen, jossa prosessi on hallinnassa ja yleisten syiden

aiheuttama vaihtelu säilyy vakiona. Tällöin prosessia on mahdollista valvoa myöhemminkin tähän tilanteeseen verraten. Tällaisia rajoja kutsutaan tuotantovalvontarajoiksi. Mikäli uusia rajoja syntyy, on niihin johtaneet syyt dokumentoitava hyvin. Rajojen laskemisen jälkeen niiden käyttökelpoisuutta on seurattava, kunnes tuloksia on kerätty riittävästi. Toisena mahdollisuutena on määrittää liukuvat valvontarajat tietotekniikkaa apuna käyttäen esimerkiksi kahden tai kolmenkymmenen edellisen tuloksen perusteella ja verrata uutta tulosta näihin. Uusi tulos voidaan ottaa mukaan laskentaan, kun se on todettu normaaliksi. Samalla voidaan vanhin tulos pudottaa pois. (Salomäki 1999, 211).

5.3.5 Hallinnassa oleva prosessi

Hallinnassa olevasta prosessista voidaan puhua siinä vaiheessa, kun siinä ei ole osoitettavissa erityisyyttä ja kaikki tapahtuva vaihtelu voidaan katsoa johtuvaksi prosessille ominaisista, sisäisistä sekä aina vaikuttavista vaihtelun lähteistä. Kyseessä on siis ennustettava prosessi. Kyseessä ei kuitenkaan välttämättä ole kovin vakaa prosessi, vaan siinä voi pitkällä aikavälillä olla sisäisten ominaisuuksien muutoksia, kuten toistuvia vaihteluita. (Salomäki 1999, 194).

5.4 Erityisyyshavainnon käsittely

5.4.1 Erityisyyden paikantaminen

Ennen kuin prosessia aletaan tutkia, on tiedettävä, onko erityisyyden aiheuttava tieto oikea. Onko mittausepävarmuus tiedossa ja onko siinä tapahtunut muutoksia. Mittaus on tapa hankkia tietoa, ei osa prosessia. Mittausmenetelmä parantamalla prosessi ei varsinaisesti kehity, mutta saadaan käyttökelpoisempaa tietoa. (Salomäki 1999, 327).

Prosessiin vaikuttavat tekijät on eroteltava osatekijöihin (ihminen, kone, materiaali, menetelmä, tieto, ympäristö) ja tutkittava vaihtelun lähteitä niistä. Kun erityisyys saadaan paikannettua, on tutkittava vastaukset seuraaviin kysymyksiin (Salomäki 1999, 327):

1. Millainen ongelma oli ?
2. Milloin ongelma ilmeni ?
3. Onko ongelma ilmennyt aikaisemmin ?
4. Poistuiko ongelma välillä ?
5. Millä alueella ongelma ilmenee ?
6. Onko ongelma riippuvainen aikaan ?

5.4.2 Erityisyyden poistaminen

Poistettaessa erityisyyttä on tärkeää, että itse prosessia ei muuteta, jos se on ollut suorituskypyinen ennen havaittua erityisyyttä. Mikäli prosessin suorituskypy ei ole ollut riittävä, on sen kehittämiseen tähtäävät toimenpiteet pystyttävä erottamaan erityisyyden poistamisesta. (Salomäki 1999, 329).

Erityisyyden poistamiselle on kolme vaihtoehtoa. (Salomäki 1999, 330):

1. Poistetaan erityisyyden aiheuttaja eli esimerkiksi vaihdetaan vuotava putki tai rikkiönyt laite.
2. Mikäli erityisyyden aiheuttajaa ei pystytä poistamaan, on sen vaikutus prosessiin estettävä esimerkiksi asentamalla suodatin.
3. Prosessia tai vaatimuksia muokataan siten, että erityisyyden esiintymisellä ei enää ole vaikutusta. Esimerkiksi rakennetaan kuljetin siten, että se pystyy käsittelemään myös virheellisessä asennossa olevat tuotteet.

Mikäli erityisyys on tunnistettu oikein, on sen poistaminen usein melko yksinkertaista. Erityisyyden poistamisen jälkeen on varmistuttava, että erityisyys on tunnistettu oikein ja valittu sopiva korjaustoimenpide. (Salomäki 1999, 330).

6 Gage R&R-testi

Gage R&R on testimenetelmä, jonka avulla määritetään prosessin uusittavuuden (reproducibility) ja toistettavuuden (repeatability) yhteisvaikutuksen prosentteina toleranssialueesta tai prosessin mitatusta vaihtelusta. Se antaa huolellisesti tehtynä hy-

vän tuloksen mittausepävarmuudesta ja sopii työkaluksi esimerkiksi toleranssirajojen määrittämiseen sekä toleranssialueeseen soveltuvan mittausmenetelmän kartoituksessa. Yleisesti Gage R&R-menetelmää käytettäessä mittausepävarmuus ilmoitetaan 95 %:n tai 99 %:n luottamustasolla. On kuitenkin muistettava, että mittausepävarmuuden määrittämiseenkin liittyy mittausepävarmuutta. Ford, GM ja Chrysler ovat laatineet Gage R&R-testin alihankkijoilleen, joka on myöhemmin yleistynyt laajaan käyttöön. (Salomäki 1999, 140.)

7 SPC:n soveltaminen tiivisteiden valmistusprosessissa

7.1 Työn toteutus

Opinnäytetyön toteutus aloitettiin perehtymällä SPC-menetelmän teoriaan ja määrittämällä menetelmän käyttöönoton asettamia vaatimuksia käsiteltävälle prosessille. Selvitettiin läppäventtiilin tiivisteiden valmistusprosessiin kuuluvat työvaiheet ja prosessiin vaikuttavat tekijät, joiden pohjalta luotiin prosessikuvaus.

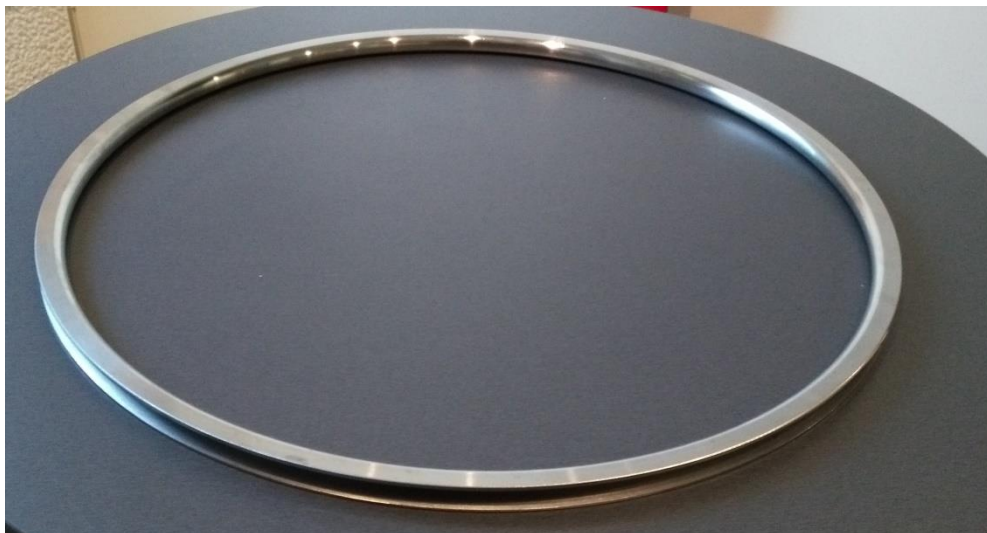
Prosessin ollessa selvillä aloitettiin tiivisteissä aikaisemmin esiintyneiden virheiden kartoitus työvaihekohtaisesti. Virhekartoituksen tarkoituksena oli saada selville, mitkä ovat useimmin toistuvia virheitä kussakin tiivisteiden valmistusprosessin vaiheissa. Aikaisemmin esiintyneiden virheiden kartoitus osoittautui melko haastavaksi, koska virheitä ei oltu varsinaisesti kirjattu mihinkään muistiin. Apuna virhekartoituksessa käytettiin hylätyn materiaalin tietokantaa, josta saatiin pääosa tiivisteiden romutukseen johtaneista syistä. Lisäksi jokaista tiivisteiden valmistukseen osallistuvaa työntekijää haastateltiin, jotta saataisiin selville myös virheitä, joita tiivisteessä esiintyy, mutta ne eivät johda koko tiivisteiden romutukseen. Tällaiset virheet eivät suoraan johda tiivisteiden hylkäämiseen, mutta virheen korjaamiseen joudutaan käyttämään aikaa, jolloin prosessi hidastuu.

Tiivisteiden valmistusprosessin työvaiheiden sekä siinä esiintyvien virheiden perusteella määritettiin tuotantoon mittauspisteet, joissa tiivisteelle suoritetaan tarkempia mittauksia ja tarkastuksia. Useimmin esiintyvien virheiden perusteella määritettiin kohteet, joita mittauspisteillä mitataan. Mittauspisteille luotiin tiedonkeräyslomakkeet, joihin kerätään tiedot ja esiintyvät virheet kustakin tiiviste-erästä. Mit-

tauspisteiltä saatavia tietoja varten luotiin Excel-pohjainen valvontakortti, joka laskee kerättyjen tietojen perusteella jokaiselle tiiviste-erälle ohjausrajat. Valvontakortti laskee tiiviste-erän virheellisten tuotteiden suhdetta hyväksytyihin tuotteisiin ja ohjausrajan ylittävät tiiviste-erät otettiin tarkempaan tarkasteluun. Ohjausrajan ylittäneet tiiviste-erät analysoitiin ja pyrittiin selvittämään esiintyneiden virheiden juurisyitä. Tuotantoon työntekijöiden nähtäville luotiin laatutaulu, josta tiivisteiden valmistuksessa esiintyvää laatuvariaatiota voi seurata numeraalisessa sekä myös graafisessa muodossa. SPC ja siihen liittyvä toiminta koulutettiin henkilöstölle SPC-menetelmän käyttöönoton yhteydessä.

7.2 Nykytilan analysointi

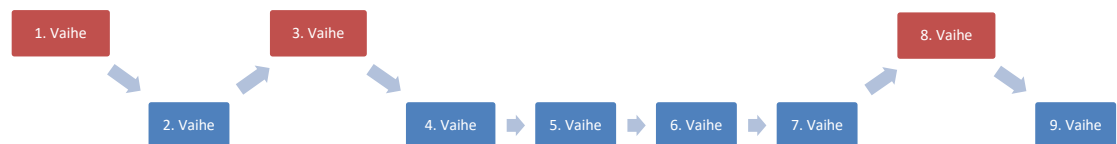
Vexven läppäventtiilivalmistuksen osa-alueista yhdeksi vaikeimmiksi hallittavaksi on osoittautunut tiivisteiden (ks. kuvio 10) valmistaminen. Tiivisteiden valmistusprosessiin kuuluu monia eri työvaiheita, jonka seurauksena potentiaalisia vaihtelun lähteitä löytyy useita. Prosessin vaihteluun vaikuttaa mm. käytettävät työmenetelmät ja yksittäisen työtehtävän suorittavan työntekijän vaihtuminen. Suurin ongelma tiivisteiden valmistuksessa ei varsinaisesti ole ollut, ettei laadukasta tiivistettä pystyisi valmistamaan. Ongelma kohdistuu yksittäisten tiivisteiden sekä tiivistesarjojen laadun vaihteluun. SPC:n tarkoituksena Vexvellä on toimia jatkuvan tuotekehityksen tukena tiivisteiden osalta, tuoda tiivisteiden laadunvaihtelua aiheuttavia juurisyitä esille sekä toimia tuotannossa päivittäisenä laadunvalvonnan työkaluna.



Kuvio 10. Läppäventtiilin tiiviste

7.3 Prosessikuvaus

Läppäventtiilin tiivisteiden valmistusprosessi voidaan jakaa yhdeksään eri työvaiheeseen. Kuviossa 11. on kuvattuna tiivisteiden valmistusprosessin vaiheet. Punaisella merkityt työvaiheet teetetään alihankkijalla ja sinisellä merkityt työvaiheet tehdään itse. Työvaiheiden sisältö on kuvattu tarkemmin liitteessä 1.



Kuvio 11. Tiivisteiden valmistusprosessin vaiheet

7.4 Mittauspisteet

7.4.1 Työskentely mittauspisteellä

Mittauspisteeksi kutsutaan kohdetta, jossa kappaleiden seuranta ja mittaus tapahtuu. Mittauspisteiden tehtävänä on suorittaa ennalta määritetyt mittaukset ja tarkastukset tuotteelle. Mittaukset ja tarkastukset suorittavan henkilön tärkeimpiä tehtäviä on kirjata tulokset sekä havainnot talteen. Mielestäni yksi SPC-menetelmän suurimmista haasteista on saada luotettavasti kerättyä juuri haluttu data näyte-eristä arkistoitavaan muotoon. Kerätyn mittausdatan luotettavuus riippuu pääasiassa datankeräystavan toimivuudesta ja mittauspisteellä työskentelevän henkilön huolellisuudesta ja motivaatiosta kirjata tulokset muistiin. Mittauspisteillä työskenteleville henkilöille on tehtävä selväksi, että aina on parempi vaihtoehto kysyä, miten pitää toimia jos tulosten kirjaamisessa ilmenee epäselvyyksiä. On hyvä luoda toimintamalli, jonka mukaan menetellään, mikäli kysymyksiä esiintyy. Tämä siksi, koska virhe kirjatuihin tuloksiin heijastuu suoraan laatutaululla esitettäviin tuloksiin ja aiheuttaa myös virhettä SPC:n matemaattisessa laskennassa.

7.4.2 Mittauspisteiden määrittäminen

Mittauspisteitä määritettäessä oli mietittävä hyvin tarkasti, missä vaiheessa tiivisteiden valmistusprosessia saadaan mitattua halutut muuttujat ja tarkistettua tiivisteessä esiintyviä ominaisuuksia. Mittauspisteitä suunniteltaessa otettiin huomioon SPC:n vaikutus päivittäiseen työskentelyyn. Mittauspisteellä työskentelevä henkilö tekee työpisteellään paljon muutakin tuotantoa kuin tiivisteitä. Tästä johtuen mittaus-ten/tarkistuksien suorittaminen ja tulosten kirjaaminen ei saanut haitata liiaksi muuta työskentelyä. Toiminnan helpottamiseksi luotiin selkeät ohjeet mittauksista ja tarkistuksista mittauspisteellä (ks. liitteet 2, 3, 4 ja 5). Tiedonkeruulomakkeille määritettiin myös yhteinen paikka, johon ne palautetaan tietyssä ajankohtana. Mittauspisteiden lukumäärässä päädyttiin lopulta viiteen eri mittauspisteeseen. Varmistuttiin myös, että näissä pisteissä saadaan suoritettua kaikki tarvittavat havainnot tuotteesta. Tiedettiin toki jo alussa, että mittauspisteiden määrä ja niissä suoritettavat mittaukset sekä tarkistukset tulevat muuttumaan SPC:n edetessä. Liitteessä 6 on lueteltu viisi mittauspistettä, joilla lähdettiin alkuun.

7.5 Tiedonkeruu

SPC-menetelmän käyttöönotossa on mietittävä, miten mittausdata kerätään tuotannosta talteen. Vexvellä tiedonkeruu päädyttiin aloittamaan siten, että luodaan jokaiselle mittauspisteelle oma tiedonkeruulomake (ks. liitteet 7, 8, 9, 10 ja 11). Työntekijä täyttää tiedonkeruulomaketta sitä mukaa, kun hän suorittaa mittauksia tiivisteille ja palauttaa lomakkeen sille varattuun lokeroon. SPC:stä vastaava henkilö kerää tiedonkeruulomakkeet lokerosta ja täyttää niiden pohjalta tiedot valvontakorttiin, jonka jälkeen lomakkeet arkistoidaan mittauspistekohtaisesti talteen. Myöhemmin tiedonkeruu on tarkoitus muuttaa sähköiseksi eli työntekijä täyttäisi tiedonkeruulomakkeen tiedot suoraan tietokoneelle, mutta alkuun todettiin paperisten versioiden toimivan paremmin ja tukevan SPC:n omaksumista tehokkaammin.

Tiedonkeruulomakkeet luotiin yksinkertaisiksi täyttää, jotta pystytään minimoimaan työntekijän merkintöjen aiheuttamat epäselvyydet ja mahdollisten merkintävirheiden heijastuminen tuloksiin. Tiedonkeruulomakkeeseen on kerätty yleisimmät mittauspisteellä esiintyvät virheet ja lisäksi siitä löytyy myös kohta muille syille, johon min-

kä tahansa esiintyvän virheen voi kirjoittaa muistiin. Työntekijä täyttää lomakkeeseen päivämäärän, tarkastajan/mittaajan nimen, päivän aikana mitattujen aihoiden lukumäärän sekä aihioissa esiintyneiden virheiden lukumäärän tukkimiehen kirjanpitoa apuna käyttäen. Eli kun tiivisteahiossa esiintyy jokin määritetty virhe, niin työntekijä merkitsee aina lomakkeeseen yhden viivan lisää sen tiivistekokoluokan kohdalle, jossa virhe ilmeni. Edellisten lisäksi lomakkeesta ilmenee prosessi, jota tutkitaan ja mitauspiste.

Aluksi tiedonkeruu lomakkeita täytettiin joka päivältä, jolloin tiivisteitä sillä mittauspisteellä käsiteltiin. Myöhemmin päädyttiin täyttämään lomakkeita siten, että mittauspiste 2 täyttää lomakkeelle aina yhden sarjan, jolle työvaihe suoritetaan ja muut mittauspisteet täyttävät lomakkeen viikoittain eli yhdelle lomakkeelle täytetään sen viikon aikana mitatut tiivisteet. Tämä muutos mahdollisti huomattavasti käyttökeloisemmat tulokset SPC:tä ajatellen.

7.6 Valvontakorttityypin valinta ja kortin luonti

Valvontakorttityypin valinta riippuu käsiteltävästä prosessista ja siitä saadusta datasta. Tiivisteiden valmistusprosessissa lasketaan tuotteiden määrää, joissa jokin tietty ominaisuus esiintyy tai tuote ei muuten täytä sille määritettyjä vaatimuksia. Näyteerän koko vaihtelee riippuen tiivisteiden kokoluokasta. Näillä lähtötiedoilla valvontakortin tyyppiä valikoitui p-kortti. P-korttia käytetään prosesseihin, joissa tuotteiden määrää valvotaan ja näyteerän koko vaihtelee. Jokaisen näyteerän tuotteiden määrä on oltava selvillä. P-kortissa ei voida käyttää suoraan mittaus tuloksia, vaan jokaiselle näyteerälle lasketaan suhdeluku, joka tulee kun jaetaan virheellisten tuotteiden määrä koko näyteerän koolla. Valvontarajat lasketaan myös jokaiselle näyteerälle erikseen.

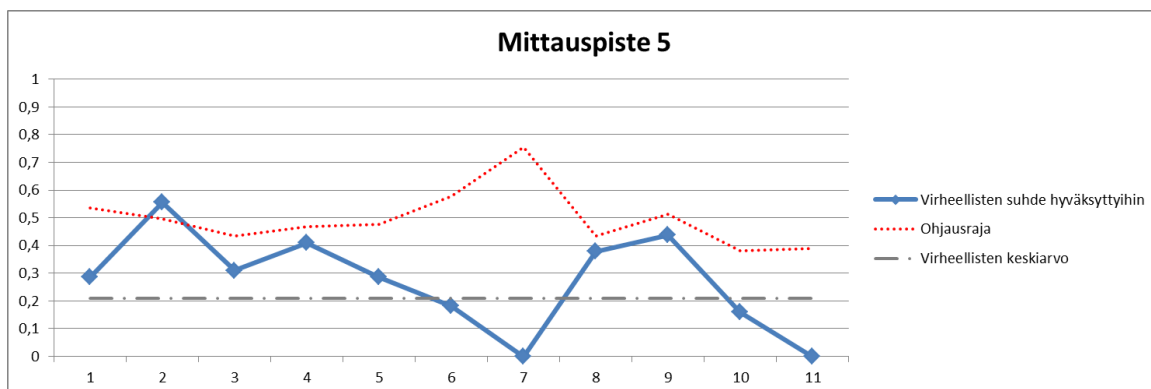
Valvontakortti luotiin käyttämällä Microsoft Excel-ohjelmistoa. Valvontakortin ensimmäinen välilehti toimii kenttänä, johon mittauspisteiden tiedonkeruulomakkeiden tiedot täytetään (ks. liite 12). Ensimmäiseltä välilehdelä löytyvät kunkin näyteerän numero, päivämäärä/viikko, näyteerän koko, määritettyjen virheiden luettelo, näyteerän virheellisten tuotteiden lukumäärä, virheellisten tuotteiden suhde hyväksytyihin tuotteisiin ja ohjausraja. Mittauspisteellä 2 näyteeränä toimii yksi kokonainen

tiivistesarja ja muissa mittauspisteissä tarkasteltava näyte-erä on yhden viikon aikana mitatut tiivisteet. Esimerkkinä alla olevassa taulukossa on esitetty Mittauspisteen 5 tiedot.

Taulukko 1. Mittauspisteen 5 tiedot

Mittauspiste 5												
Näyte-erän nro.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Viikko		8	10	11	12	13	14	15	17	20	21	22
Mitatut tiivisteet yhteensä		29	22	21	11	5	29	16	50	46	18	28
1. Virhe 1												
2. Virhe 2		4	9	5	2		8	7	6		2	2
3. Virhe 3												
4. Virhe 4		4										
5. Muu syy		1		1			3		2			2
Virheet yhteensä		9	9	6	2	0	11	7	8	0	2	4
Virheellisten suhde hyväksytyihin		0,31	0,41	0,29	0,18	0,00	0,38	0,44	0,16	0,00	0,11	0,14
Ohjausraja		0,45	0,48	0,49	0,59	0,77	0,45	0,53	0,39	0,40	0,51	0,45

Valvontakortin toisella välilehdellä on tulokset esitettyä kuvaajana (ks. liite 13), josta ilmenee kunkin näyte-erän virheellisten tuotteiden suhde hyväksytyihin tuotteisiin, ohjausraja ja virheellisten tuotteiden keskiarvo. Kuviossa 15 on esitettyä Mittauspisteen 5 tiedot kuvaajamuodossa.



Kuvio 12. Mittauspisteen 5 kuvaaja

7.7 Ohjausrajojen laskenta

P-kortissa ohjausrajat lasketaan erikseen jokaiselle näyte-erälle. Mikäli näyte-erän koko vaihtelee maksimissaan 25 %, voidaan ohjausrajojen laskennassa käyttää näyteerien keskiarvoa. Vexven tilanteessa näyte-erän koko voi vaihdella päivästä riippuen hyvinkin paljon, joten Excel laskee automaattisesti jokaiselle näyte-erälle oman ohjausrajan (ks taulukko 2).

Taulukko 2. Ohjausrajat näyte-erille

Mittauspiste 3									
Näyte-erän nro.		1	2	3	4	5	6	7	8
Viikko		6	8	9	11	12	13	15	17
Mitatut aihiot yhteensä		28	56	14	11	29	19	43	20
1. Virhe 1			3						
2. Virhe 2			1						
3. Virhe 3		1							
4. Virhe 4									
5. Muu syy				1	1	1			
Virheet yhteensä		1	4	1	1	1			
Virheellisten suhde hyväksyttyihin		0,04	0,07	0,07	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00
Ohjausraja		0,30	0,24	0,37	0,40	0,29	0,34	0,26	0,33

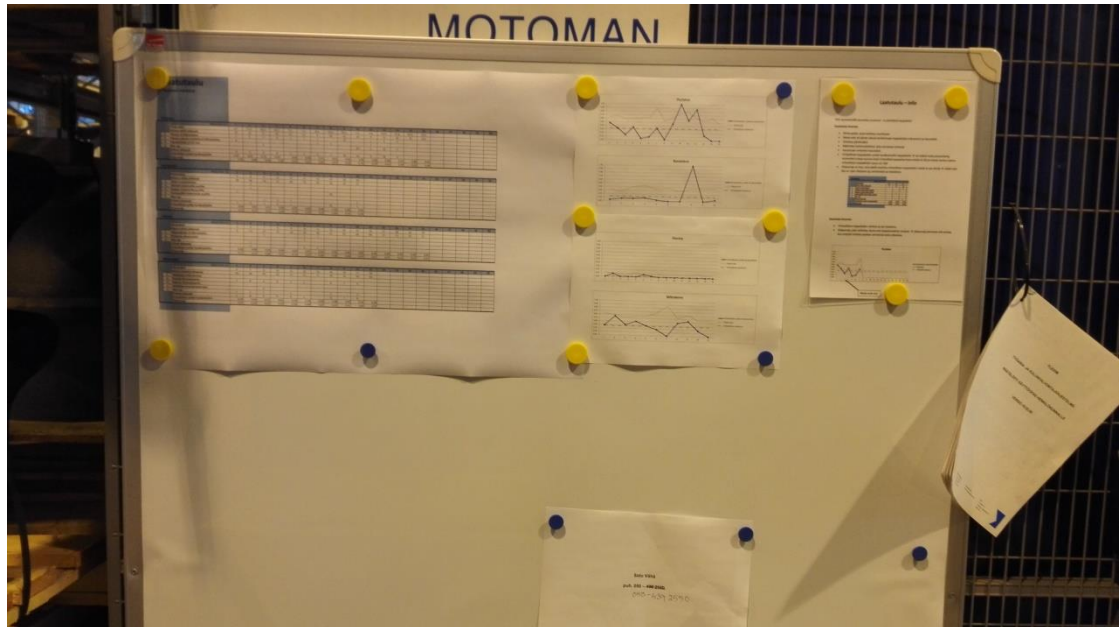
Ohjausrajat lasketaan alla olevan kaavan (3) mukaisesti. Tiivisteen valmistusprosessissa päädyttiin käyttämään ainoastaan yläohjausrajaa ja alaohjausrajana toimii tällöin arvo nolla.

Ylävalvontaraja

$$UCL_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \quad (3)$$

7.8 Laatutaulu

Tuotannon seinälle tehtiin laatutaulu (ks. kuvio 17), jotta kaikilla tuotannon työntekijöillä on mahdollisuus seurata SPC:n toteutusta ja nähdä tuloksia prosessin eri vaiheista. Laatutaulusta ilmenee näyte-erien numerot ja tiedot, kuten koska mittaukset ovat suoritettu, mitä virheitä on esiintynyt, virheiden lukumäärät ja virheellisten kappaleiden suhde hyväksyttyihin. Tulokset ovat esitettynä myös graafisessa muodossa, joista on helppo tulkita mahdollinen erityisyys ja näyte-erä, jossa erityisyys on ilmennyt, löytyy helposti taulukosta etsimällä. Laatutaulusta ilmenee myös toimenpiteet, joita laadun parantamiseksi on tehty ja toimenpiteet, jotka ovat työn alla. Laatutaulun on myös tarkoitus toimia niin sanottuna välittömänä palautteena työntekijälle ja lisäksi pitää työntekijän kiinnostus yllä laatuasioihin sekä SPC:hen liittyen.



Kuvio 13. Tuotannon laatutaulu

7.9 Gage R&R-testi

Mittauspisteelle 2 tehtiin mittausepävarmuutta määrittävä Gage R&R-testi. Testin avulla haluttiin tutkia mittauspisteellä käytettävän mittausmenetelmän sopivuutta määritettyyn toleranssialueeseen. Testi suoritettiin siten, että valittiin satunnaisesti tuotannosta viisi kappaletta tiivisteitä, joista mitattiin tiivisteiden yhtä ominaisuutta ja merkittiin ylös sekä pienin, että suurin saatu arvo. Mittaajina toimivat kaksi mittauspisteellä 2 työskentelevää työntekijää ja yksi tiivisteitä muussa työpisteessä mittaava työntekijä. Mittausolosuhteet olivat kaikilla mittaajilla samanlaiset ja myös mittavälineenä käytetty työntömitta oli kaikilla sama. Kukin mittaaja mittasi tiivisteet satunnaisessa järjestyksessä.

Liitteessä 14 on esitettyinä mitatut viisi kappaletta tiivisteitä numeroina yhdestä viiteen. Kustakin tiivisteestä on mitattu a-mitta, joka on pienin tiivisteestä saatu mitta-arvo ja b-mitta, joka taas on suurin tiivisteestä saatu mitta-arvo. Mittaajat A ja B ovat mittauspisteellä 2 työskenteleviä työntekijöitä ja mittaaja C on muun työpisteen työntekijä. Lisäksi taulukosta ilmenee mittaajien saamien tulosten välinen vaihteluväli.

Tässä tapauksessa 99 % luottamustasolla mittausepävarmuudeksi saatiin 32,2 % ja 95 % luottamustasolla 25,0 %. Tuloksia tarkastellessa huomattiin, että mittausepävarmuutta kohottaa yhden mittajaan tekemä yksittäinen mittausvirhe. Sulkemalla mittausepävarmuuden määrittämisestä pois näytteen 4 a arvot, saadaan mittausepävarmuudeksi 99 % luottamustasolla 21,6 % ja 95 % luottamustasolla 16,8 %. Jälkimmäisen tarkastelun perusteella todettiin mittausepävarmuuden olevan siedettävällä tasolla kohde huomioiden.

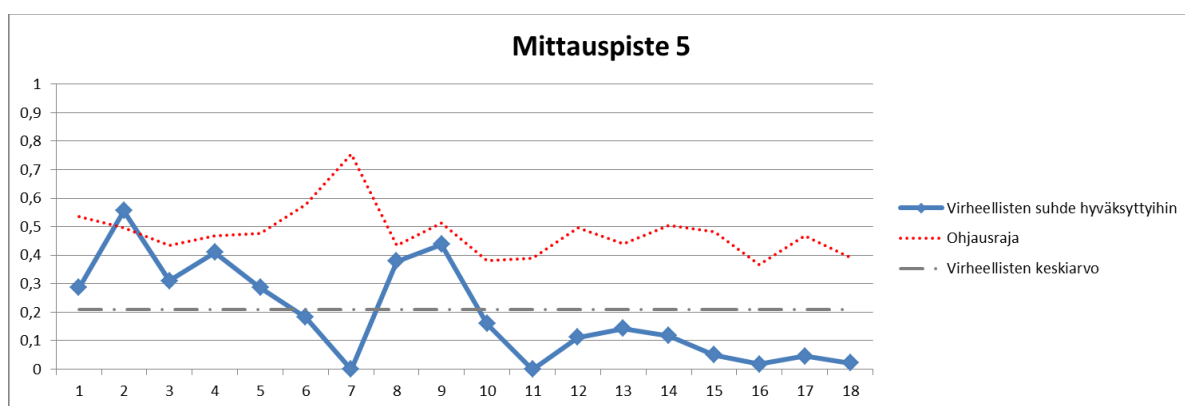
8 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyö aloitettiin kartoittamalla ja suunnittelemalla toimintatapaa, jolla SPC-menetelmää pystytään toteuttamaan tiivisteiden valmistusprosessissa. Prosessi saatiin kuvattua nopeasti ja mittauspisteiden määrittäminen, historiatiedon keräys sekä valvontakortti-/laatutaulupohjan luonti sujui melko nopealla aikataululla. Suurimmaksi haasteeksi osoittautui alkuvaiheessa tiivisteiden valmistusmäärä, joka on melko pieni ja aiheuttaa sen, että jokainen tuotannossa kulkeva tiiviste huomioidaan SPC:ssä. Pienhäkö valmistusmäärä rajoittaa näytteen ottoa siten, että näytemäärää ei pysty niin halutessa kasvattamaan. Esimerkiksi prosessiteollisuudessa, jossa tuotannossa samaa tuotetta menee jatkuvasti suuria määriä, on tilanne näytteiden oton suhteen joustavampi ja näin ollen näytekeräys pystytään itse määrittämään optimaaliseksi kuhunkin tilanteeseen. Aluksi näyte-eränä toimi yhden päivän aikana mitatut tiivisteet, jolloin päivän aikana saatettiin mitata hyvin pieni määrä tiivisteitä, joista sattumalta löytyi virheellisiä. Tällöin virheellisten osuus vastasi suurta osuutta koko näyte-erästä ja seuraava näyte-erä saattoi olla virheetön, mikä tarkoitti, että kuvaajien tulkitseminen oli käytännössä mahdotonta. Ratkaisuna tähän ongelmaan muutettiin osalla mittauspisteistä näyte-erän kooksi kaikki yhden viikon aikana mitatut tiivisteet. Tuloksista saatiin tällä muutoksella paljon käyttökelpoisempia SPC:n tarpeisiin.

Viikkotasolla suoritettavan seurannan ongelma on, että SPC:lle ominainen virheiden välitön huomaaminen on hankalampaa, koska näyte-erä kirjataan valvontakorttiin viikon välein. Tämä toimintatapa valittiin tästä ongelmasta huolimatta, koska SPC:n käyttäminen laadun valvonnassa ja sen myötä toteutettava johdonmukainen virheiden ratkaisumalli koettiin suhteessa hyödyllisemmäksi.

SPC:n tilanteen katsaukseen ja esiintyneiden erityisyyden läpikäyntiä varten määritettiin säännöllinen palaveri. Palavereissa päätetyistä toimenpiteistä tehtiin taulukko josta ilmenee tehtävä, vastuuhenkilö ja aikataulu.

SPC:n kuvaajia tulkitsemalla pystytään tunnistamaan tiettyjä piirteitä tuotannosta. SPC: ansiosta pystytään seuraamaan tehtyjen muutosten vaikutusta tiivisteiden valmistuksessa. SPC:n ansiosta tehtyjen muutosten vaikutusten toteaminen ei jää pelkäämään työntekijöiden muistin varaiseksi, koska kaikki tiivisteessä esiintyneet virheet kirjataan ylös. Alla olevassa kuvassa on mittakoneen mittauspisteen kuvaaja, josta nähdään, että määritettyjen virheiden esiintyminen on vähentynyt huomattavasti.



Kuvio 14. Mittauspisteen 5 kuvaaja

Kun virheitä saadaan pikkuhiljaa vähennettyä, on seuraavana vaiheena seurattavien ominaisuuksien päivitys, jolloin seurantaan otetaan mukaan pienempiä virheitä, jotka alkuun jätettiin huomioimatta. Kehitys ajatuksia SPC:n varalle on mm. jo aiemmin mainittu mittauspisteiden tiedonkeruun siirtäminen sähköiseksi, jolloin mittauspisteen työntekijä kirjaisi näyte-erän tulokset suoraan tietokoneelle. Alkuun tiivisteiden valmistuksesta on kerätty vain ominaisuustietoa eli esiintyykö tuotteessa jokin tietty ominaisuus vai ei. Ominaisuustiedon keräämisestä voitaisiin pyrkiä mahdollisuuksien mukaan siirtymään seuraamaan muuttujatietoa, jolloin tuloksista nähtäisiin mitta-arvo jokaisesta tiivisteestä. Muuttujatietoa kerätessä pystytään paremmin seuraamaan mittojen vaihtelua tiivisteiden kesken.

Vervellään SPC:tä on mahdollista laajentaa myös muuhun tuotantoon. Esimerkiksi venttiilien testaukseen, jolloin saataisiin todennettua syyt joiden takia venttiilejä joudu-

taan hylkäämään. SPC:tä laajennettaessa on toki otettava tarkoin huomioon, että onko kohde oikeasti sellainen, jota halutaan seurata.

Mittauspisteillä työskentelevien työntekijöiden toiminnasta ei juuri aiheudu lisäkustannuksia, koska samankaltaisia mittauksia suoritetaan joka tapauksessa päivittäisessä toiminnassa. SPC-menetelmän ylläpitämiseen ja sen kehittämiseen tässä muodossa vaatii kuitenkin vastuuhenkilöltä noin yhden työpäivän viikosta. Verrattaessa vastuuhenkilön SPC-menetelmän ylläpitämiseen sekä kehittämiseen käyttämää aikaa ja siitä koituvia hyötyjä keskenään, uskon, että menetelmän käytöstä saadaan pitkällä aikavälillä taloudellisia säästöjä. SPC-menetelmästä saatavia pääasiallisia hyötyjä ovat mm. johdonmukaisen ongelmanratkaisumallin löytäminen ja käytettävissä olevien resurssien- sekä ajankäytön tehostaminen.

Lähteet

Karjalainen, T., Karjalainen, E. 2000. Laatujohtamisoppien (TQM) soveltaminen PK-yritykseen. SPC, systeemiteoria, TOC-teoria. Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Salomäki, R. 1999. Suorituskykyiset prosessit - Hyödynnä SPC. MET nro 9/1999, 2. uudistettu painos. Metalliteollisuuden Kustannus.

SPC – Tilastollinen Prosessin ohjaus. Tilastolliset menetelmät. Laatutieto.fi. Viitattu 18.9.2016. http://www.laatutieto.fi/product_catalog.php?c=46&page=2

Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation. Second Printing 1995. Statistical Process Control (SPC). Reference Manual.

Tuotteet, palloventtiilit. Vexve Oy:n internetsivu, tuoteluettelo. Viitattu 11.6.2016. <http://www.vexve.com/fi/tuotteet/vexve/palloventtiilit/teraspalloventtiilit-supistettuaaukkoiset/>

Tuotteet, läppäventtiilit. Vexve Oy:n internetsivu, tuoteluettelo. Viitattu 11.6.2016. <http://www.vexve.com/fi/tuotteet/vexve/lappaventtiilit/lappaventtiilit-taysaukkoiset-vaihteilla-ja-toimilaitteilla/>

Tuotteet, hydrauliset toimilaitteet. Vexve Oy:n internetsivu, tuoteluettelo. Viitattu 11.6.2016. <http://www.vexve.com/fi/tuotteet/hydrox/hydrauliset-toimilaitteet/>

Tuurala, T. 2010. Prosessi, prosessiorganisaatio ja prosessin ohjaus. Laatuakatemia. Päivitetty 29.8.2010. Viitattu 18.9.2016. <http://www.kotiposti.net/tuurala/prosessit.htm>

Vexve Oy. Vexve Oy:n internetsivu, yritys välilehti. Viitattu 29.4.2016. <http://www.vexve.com/fi/yritys/>

Vexve Oy yritysesittely. 2015. Sastamala; yritysesitys.

Liitteet

- Liite 1. Tiivisteen valmistusprosessin työvaiheet
- Liite 2. Mittauspisteen 1 mittausohje
- Liite 3. Mittauspisteen 2 mittausohje
- Liite 4. Mittauspisteen 5 mittausohje
- Liite 5. Laatutaulun esitietolomakkeen täyttöohje
- Liite 6. Mittauspisteet
- Liite 7. Laatutaulun esitietolomake 1
- Liite 8. Laatutaulun esitietolomake 2
- Liite 9. Laatutaulun esitietolomake 3
- Liite 10. Laatutaulun esitietolomake 4
- Liite 11. Laatutaulun esitietolomake 5
- Liite 12. Valvontakortin tiedot välilehti
- Liite 13. Mittauspisteiden kuvaajat
- Liite 14. Mittausepävarmuuden määrittäminen